総説

アスリートのたんぱく質栄養の考え方

岡村 浩嗣

大阪体育大学大学院 スポーツ科学研究科 運動栄養学

たんぱく質は筋肉の主要な成分であり、スポーツ栄養で 最も関心の高い栄養素であろう。筋肉合成には、材料で あるたんぱく質を不足しないように摂ることが必要である とともに、たんぱく質の摂取タイミング、他の栄養成分と の組合せ、消化・吸収速度などが影響する。

アスリートのたんぱく質必要量

たんぱく質は消化・吸収されると筋肉等の体たんぱく質合成に利用される他に、酵素、ホルモン、抗体などの合成にも利用される。そして、これらの必要量を超えて摂取された場合にはエネルギー源として消費されたりする(図1)。体たんぱく質合成に利用可能なたんぱく質量には上限がある。図2は、1日・体重1kgあたりのたんぱく質摂取量を0.86gから1.4gに増やすと、筋力トレーニングをした場合には全身の体たんぱく質合成が高まるが、2.4gに増やした場合には体たんぱく質合成がさらに高まることはなく、酸化すなわちエネルギーとして消費される量が増えたことを示している[1]。このように、体たんぱく質合成に利用されるたんぱく質の上限は1日・体重1kgあたり2g程度であろうと考えられている。この図からは、トレーニングしないでたんぱく質摂取量を増やすだけでは体たんぱく質合成は増大しないことも分かる。

運動すると、摂取したたんぱく質の体たんぱく質合成への利用効率が高まる。表1は、ウエイトトレーニングを12週間行うと窒素出納が増大したことを示した実験結果で

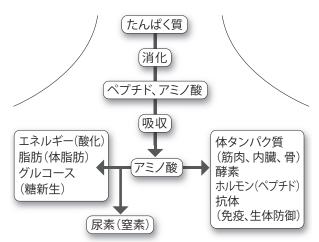


図1 たんぱく質は体内でどう利用されるか。

ある [2]。窒素出納の値が正の場合は窒素が体内に貯留したことを示す。したがって、この実験での窒素出納の増大は窒素の体内貯留が増えたこと、すなわち体たんぱく質の蓄積が増大したことを示している。この実験ではトレーニング期間中もたんぱく質摂取量は変化させていなかったので、運動するとたんぱく質の体内貯留が高まったということである。この実験の被験者は非鍛練者で、除脂肪組織量は 12 週間後に増大していた。著者らは、この実験のように被験者の筋肉量が増大する場合でもたんぱく質摂取量を増やす必要のなかったことから、すでに筋肉量が増大

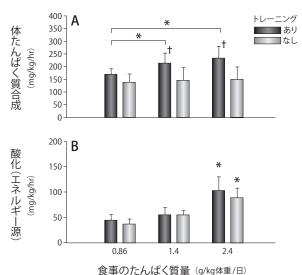


図2 体たんぱく質合成を亢進するたんぱく質摂取量は2g/kg体重/日程度が上限と考えられている(参考文献1)。図A、*はトレーニング「あり」で2.4(g/kg体重/日)と1.4が0.86よりも有意(P<005)に高く、+は群間に有意差(P<005)のあることを示す。図B、*はトレーニング「あり」と「なし」の両群で、2.4が1.4及び0.86よりも有意(P<005)に高いことを示す。

表 1 成人男子の窒素貯留は12週間のレジスタンス トレーニング後に増大した

	トレーニング前		トレーニング後	
	1日目	2日目	1日目	2日目
	mg / (kgLBM•d)			
窒素出納 (簡便法)	55.9±13.8	55.3±11.2	100.3±19.0	90.1±19.6
窒素出納	14.0±13.5	13.3±8.9	38.5±13.9	28.3±17.0

して一定となっている鍛練者でも、たんぱく質摂取量を増やす必要はなかろうと考察している。また、この実験では食後も絶食時も、体たんぱく質代謝が12週間のトレーニング後に低下することを報告している。すなわち、トレーニングすると少なくともたんぱく質の必要量が増大することはなさそうだと報告されている。

表2に現在のアスリートのたんぱく質必要量をまとめた。 我が国の国立スポーツ科学センターの値は高めである。これは、①エネルギー必要量の多いアスリートで標準的な摂取量にすると、主菜が少なく主食が多い食事になり食べにくいこと②主菜を増やしてたんぱく質摂取が増えても、炭水化物などその他の栄養素の必要量は確保出来る、という理由による。近年、アスリートのたんぱく質必要量は従来よりも少ない値が提示される傾向がある。たんぱく質必要量は従来よりも少ない値が提示される傾向がある。たんぱく質必要量は登素出納を指標として評価されることが多い。しかし、窒素出納を維持出来るたんぱく質量は十分量というよりも最低必要量と考えるべきではないか、そして筋肉量や筋力などを評価指標とする必要があるのではないかとの考え方がある[3]。筆者も、筋肉量や筋力を最大限に増大するたんぱく質摂取量は、現時点では明らかになっているとはいえないと考えたほうが良いのではないかと思っている。

体づくりに対するたんぱく質栄養に関して忘れてはなら

表 2 アスリートのたんぱく質必要量(/kg 体重/日)

国立スポーツ科学センターでの値

- ・瞬発系 2.0 g
- ·球技系 1.75 g
- 持久系 1.5 g

標準的な値

- ・持久系スポーツ 1.2~1.4 g
- ・筋力系スポーツ 1.7~1.8 g

最近、提示されている値

- ・持久系スポーツ ~1.1 g (Phillips 2004)
- ・筋力系スポーツ ~1.3 g(Tarnopolsky 2004)
- ・~1.7 g (国際陸上競技連盟 2007)

表 3 たんぱく質と砂糖を同時に摂取すると、摂取したたんぱく質のうちで体づくりに利用されたのと考えられる割合を示す窒素貯留量及び窒素利用効率が高まる。

	たんぱく質	たんぱく質と 砂糖	たんぱく質と 脂肪		
窒素摂取量 (mmol)	295	295	295		
窒素吸収量 (mmol)	279.6±1.3	279.2±1.2	278.12±2.4		
窒素貯留量 (mmol)	235.1±4.9ª	249.8±2.5 ^b	235.4±3.4ª		
窒素利用効率	79.7±1.7ª	84.7±0.9b	79.8±1.3ª		

a,b;右肩のアルファベットの異なる群で有意差がある。

ないことは、エネルギーが充足しているかどうかということである。上述のたんぱく質摂取量の基準値はエネルギーが充足していることが必要条件である。日本人アスリートのたんぱく質摂取量[4]、エネルギー摂取量[4,5]については、それぞれの論文に詳しいのでここでは詳述しない。

高たんぱく質食はアスリートに必要か

アスリートには高たんぱく質食が望ましいと考えられる傾向がある。しかし、たんぱく質を多く摂っていると筋肉合成に却って不利なことを示唆する研究がある。図3は、たんぱく質を1日・体重1kgあたり2g摂っていると1g摂っている場合よりも食後の内臓でのアミノ酸の異化が増大するため、筋肉などの末梢組織でのたんぱく質合成が減少することを示している[6]。これは、筋肉等で利用しきれないアミノ酸を肝臓で処理してしまうという、高たんぱく質食に対する身体の適応現象と考えられる。普段の食事でのたんぱく質摂取量が多いと、窒素出納を維持するために必要なたんぱく質量が増えることも報告されている[7]。我々は、ラットを高たんぱく質食(重量比35%)で飼育すると普通たんぱく質食(重量比18%)で飼育した時よりも筋肉量が少ないことを観察している[8]。アスリートで窒素出納試験を行うと、窒素平衡を維持するためのたんぱく質

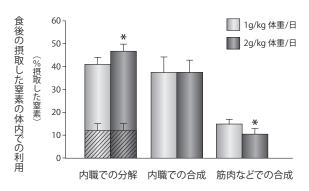


図3 普段の食事が高たんぱく質食だと食後の末梢 組織(筋肉など)でのたんぱく質合成が減少する(参 考文献6)。*は群間に有意差(P<005)のあることを示す。

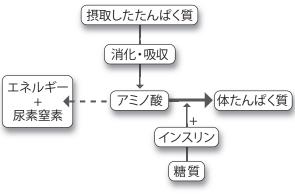


図 4 糖質をたんぱく質と同時に摂取すると、糖質によって分泌されたインスリンが体たんぱく質合成を高める。

量が多めに評価されるのは、アスリートでは摂取したたんぱく質の異化が高いためであることが推察される。

炭水化物の役割

筋肉たんぱく質の合成を高めるには、たんぱく質と炭水化物を同時に摂取することが効果的と考えられている。炭水化物を摂取することで分泌されるインスリンが、筋肉たんぱく質合成を高めるとともに分解を抑えるという、筋肉合成に有利な体内環境を整えるためである(図4)。表3は、たんぱく質を砂糖と同時に摂取した場合には、摂取したたんぱく質由来の窒素の貯留と利用効率が、たんぱく質だけを摂取した場合よりも高かったのに対して、脂肪と同時に摂取した場合には影響が見られなかったことを示している[9]。筋肉合成のためには、たんぱく質と同時に摂取するのは脂肪よりも炭水化物のほうが良いということである。

摂取タイミング

運動後の回復には、運動後早めの栄養補給が効果的なことは多くの選手・コーチが認識している。たんぱく質栄養に関しては、運動後早めの補給が数時間経過してからの補給よりも、筋肉たんぱく質の合成を高めることが報告されている(図5)[10]。これは、①運動後は筋肉への血流量が多いので、筋肉合成の基質となるアミノ酸の供給量が増えること、②運動後は筋肉のインスリン感受性が高まっていてインスリンの筋肉合成促進作用が強く現れること、③運動後に分泌が増大する成長ホルモンが筋肉合成を刺激することが関与していると考えられている。

変化に長期間を要する筋肉量などに対する栄養や食事の影響は、1回の食事の後の数時間の変化だけでなく、 長期間の実験で調べられる必要がある。

図 6 はたんぱく質と糖質を含んだ食品を午後の運動前後で摂取すると、同じ食品を運動から離れた早朝と就寝前に摂取した時よりも、除脂肪量と筋繊維の肥大、そして最大

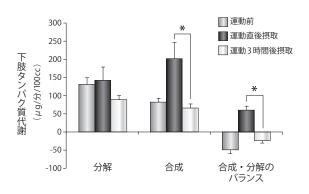


図 5 ヒト下肢のたんぱく質合成は、栄養補給を運動 直後に行なったほうが 3 時間後に行なうよりも高い (参考文献10)。*は運動直後摂取と運動3時間後摂取に 有意差(P<005)のあることを示す。

筋力の増大作用が大きかったことを示している [11]。 このように、筋肉量などに対する摂取タイミングの影響については、長期間の実験でもその有効性が支持されている。

運動前にたんぱく質を摂取することも、筋肉合成を高めることが報告されている[12,13]。

たんぱく質の消化・吸収速度と筋肉合成

筋肉合成には、消化・吸収の速やかなたんぱく質のほうが良いと認識されていると思われる。しかし、最近の研究では消化・吸収が速すぎるのは筋肉合成には望ましくないことが示されている。

図7は、吸収の速いホエーと遅いカゼインを、それぞれ30g摂取した後の体たんぱく質代謝に関する実験結果である[14]。ホエーでは摂取120分頃までは体たんぱく質合成が高まると同時に酸化も高まり、その後は摂取前の状態に戻る。一方、カゼイン摂取後の体たんぱく質の合成の上昇は短時間だが、分解は長時間に渡って抑制され、酸化

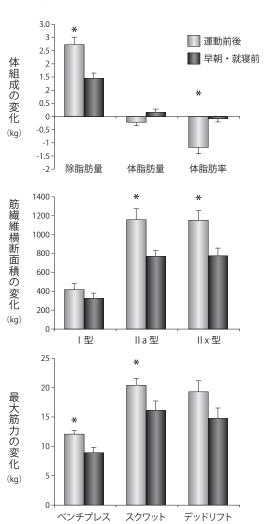


図 6 トレーニングによる筋力、筋肥大、除脂肪組織量の増大は、サプリメントを運動前後に摂取したほうが、早朝と就寝前(運動との間隔が5時間以上)に摂取したときよりも大きかった(参考文献11)。* は群間に有意差(P<005)のあることを示す。

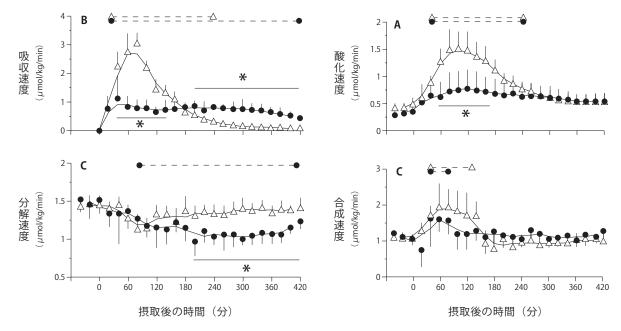


図7 吸収速度の異なるたんぱく質は摂取後の体内貯留が異なる。吸収速度の速いたんぱく質 (△ホエー) は摂取120分 頃までは体たんぱく質合成を高めると同時に酸化も高めるが、その後は摂取前の速度に戻る。一方、吸収速度の遅いたんぱく質 (● カゼイン) の摂取後の体たんぱく質の合成の上昇は短時間だが、分解を長時間に渡って抑制し酸化もそれほど高めない (参考文献 14)。* は群間に有意差 (P<005) のある期間を示す。●----●、△----△は、この期間でそれぞれの群において摂取前の値と比較して 有意差 (P<005) のあることを示す。

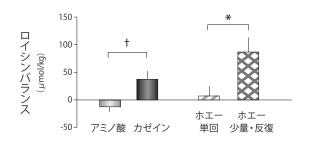


図8 それぞれのたんぱく質を30g 摂取して、420分後の体内貯留量(ロイシンバランス)はカゼインでアミノ酸よりも多かった。ホエーは単回で摂取すると体内貯留量が少なかったが、少量を反復摂取すると貯留量が増大した(参考文献15)。*と+は群間に有意差のあることを示す(*P<0.05、+P<0.01)。

もそれほど高まっていない。体たんぱく質は同化と異化が平行して進行している。図7の分解速度と酸化速度は異化であり、合成速度は同化である。この実験では摂取後420分まで代謝状態を調べている。420分間の同化と異化のバランス、すなわち体内に貯留したアミノ酸はカゼインで141±96μmol/kg体重だったのに対してホエーでは11±36μmol/kg体重だった。すなわち、摂取後に体たんぱく質合成に多く利用されていたのは、吸収の遅いカゼインだった。吸収の速やかなアミノ酸に関しても、図8のように同様の結果が報告されている[15]。この研究ではホエーを少量ずつ反復して摂取すると、体たんぱく質合成に利用される量が増加することも示されている。一度に大量のアミノ酸が血中に供給されると体たんぱく質合成に使い切れないために、このようなことになるものと推察される。

しかし、吸収が速やかなものは体たんぱく質合成に有効ではないと結論してしまえない研究がある。ホエーと炭水化物を同時に摂取するとカゼインと炭水化物を同時に摂取するよりも、アミノ酸の体内貯留が増大したことが報告されている(表4)[16]。この研究ではロイシンの影響も検討されている。ロイシンには筋たんぱく質合成を刺激する作用が知られているので、摂取するたんぱく質源の窒素量とロイシン量のどちらが体たんぱく質合成に対して影響が大きいのかを検討しているわけである。ロイシン摂取量をカゼインとホエー(等ロイシン量)で等量にした場合には、アミノ酸の体内貯留量(ロイシンバランス)はホエーがカゼインでより少ない傾向にあった。しかし、窒素量をカゼインとホエー(等窒素量)で等量にした場合には、ホエーでアミノ酸の体内貯留が高かった。吸収速度の速いたんぱく質源は、単独ではなく炭水化物と共に摂取することで体

表 4 炭水化物を同時に摂取した場合、たんぱく質 摂取後のアミノ酸の体内貯留は等窒素量の時にはホ エー食のほうが多かったが、等ロイシン量の時には カゼイン食のほうが多かった。

食事たんぱく質源		ロイシンバランス µmol (kgFFM) ⁻¹	
若齢者	カゼイン ホエー (等ロイシン量) ホエー (等窒素量)	88±15 ^b 39±9 ^a 133±11 ^c	
高齢者	カゼイン ホエー (等ロイシン量) ホエー (等窒素量)	70±17 ^a 53±18 ^a 174±20 ^b	

たんぱく質合成に有効に作用したということである。

以上の研究は運動していない状態で検討されたものだが、最近、運動後に吸収速度の異なるたんぱく質を摂取した研究が報告された。図9は、運動後に大豆たんぱくあるいは脱脂乳たんぱくを摂取した後の血漿総アミノ酸濃度の変化である[17]。大豆たんぱくのほうが吸収が速いことが分かる。図10は、総アミノ酸の下肢バランスを示しており、脱脂乳たんぱく摂取後のほうが大豆たんぱく摂取後よりも高い[17]。総アミノ酸の下肢バランスは、総アミノ酸の動脈血と静脈血の濃度差に下肢への血流量を乗じて求められる、下肢での総アミノ酸の収支である。すなわち、下肢バランスが正の場合はアミノ酸が正味取り込まれていることを示し、負の場合は放出されていることを示す。正の値が大きいほど合成が高いと解釈されるので、吸収の

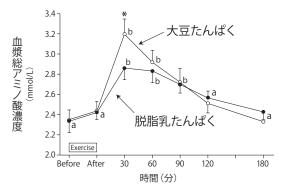


図9 血漿アミノ酸濃度の上昇は、大豆たんぱく摂取後のほうが脱脂乳たんぱく摂取後よりも高い(参考文献 17)。 a, b はそれぞれの群で運動前の値と有意差 (P<005)のあることを示す。* は群間の有意差(P<005)を示す。

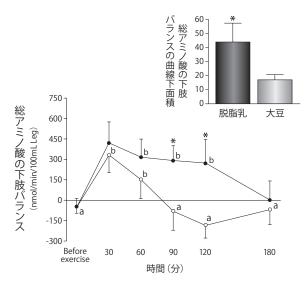


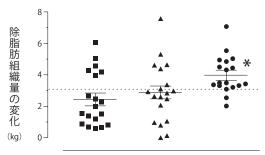
図 10 総アミノ酸の下肢バランスは脱脂乳たんぱく 摂取後のほうが大豆たんぱく摂取後よりも大きい。 下肢バランスが正の場合はアミノ酸が正味取り込まれていることを示し、負の場合は放出されていることを示す。

正の値が大きいほど合成が高いと解釈する(参考文献 17)。○大豆タンパク摂取群。●脱脂乳たんぱく摂取群。 a, b はそれぞれの群で運動前の値と有意差(P<005)のあることを示す。* は群間の有意差(P<005)を示す。 遅い脱脂乳たんぱくのほうが筋肉合成には効果的ということになる。

次の課題は、トレーニング後に吸収速度の遅いたんぱく 質を摂取したほうが筋肥大に有効かどうかということであ る。図 11 は、毎回のトレーニング後に大豆たんぱく、乳 たんぱく、あるいはこれらの二つのたんぱく質と等エネル ギーの炭水化物を含んだ食品を摂取した場合の、12週間 後の除脂肪組織量の変化を示したものである[18]。除脂 肪組織量の増大は、乳たんぱくを摂取した場合で大きかっ たことが認められている。この研究では、筋繊維の横断 面積の増大も乳たんぱくを摂取した場合が大きかった。こ のように長期間の影響に関する実験でも、トレーニング後 に摂取するたんぱく質は吸収の速い物のほうが効果的なこ とは観察されていない。運動後に吸収速度の異なるたんぱ く質を摂取した場合の影響を検討した上述の二つの研究 では、炭水化物を同時に摂取している。このようにこれま でのところ、運動後の筋肉合成には、炭水化物と同時に 摂取したとしても吸収速度の速いたんぱく質が効果的だと する知見は得られていないようである。

まとめ

アスリートは筋肉を増強することに関心が高いので、筋肉合成の材料であるたんぱく質を多く摂取する傾向がある。しかし、たんぱく質は多く摂れば摂るほど筋肉合成に有効というわけではない。むしろ高たんぱく質食は筋肉合成に望ましくない場合もあることを示唆する研究もある。また、高たんぱく質食を摂っていると体が高たんぱく質食に適応して、窒素出納を維持するためのたんぱく質量が増大する可能性がある。アスリートのたんぱく質栄養に関しては、摂取量だけでなく運動に近いタイミングで摂取すること、炭水化物と同時に摂ること、エネルギーが充足していることが重要といえるだろう。



炭水化物 大豆たんぱく 乳たんぱく

図11トレーニング後に乳たんぱくを摂取した場合で、大豆たんぱくあるいは等エネルギーの炭水化物を摂取した場合よりも、12週間の筋力トレーニング後の除脂肪組織量の増加が大きかった(参考文献18)。*大豆たんぱく及び炭水化物と有意差(P<005)にあることを示す。図中の点線は除脂肪組織量の変化量の中央値を示す。

キーワード たんぱく質、アスリート、摂取タイミング、吸収速度、炭水化物

<参考文献>

- [1] Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, Chesley A, Phillips S, Schwarcz HP. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. J Appl Physiol. 1992;73:1986-95.
- [2] Moore DR, Del Bel NC, Nizi KI, Hartman JW, Tang JE, Armstrong D, Phillips SM. Resistance training reduces fasted- and fed-state leucine turnover and increases dietary nitrogen retention in previously untrained young men. J Nutr. 2007;137:985-91.
- [3] Wolfe RR. Protein Summit: consensus areas and future research. Am J Clin Nutr 2008;87(suppl):1582S-3S.
- [4] 小清水孝子、柳沢香絵、横田由香里. 「スポーツ選手の栄養調査・サポート基準値策定及び評価に関するプロジェクト」報告. 栄養学雑誌. 2006;64:205-208.
- [5] 山本祥子、高田和子、別所京子、谷本道哉、宮地元彦、田中茂穂、戸谷誠之、田畑泉. ボディビルダーの基礎代謝量と身体活動レベルの検討. 栄養学雑誌. 2008;66:195-200.
- [6] Juillet B, Fouillet H, Bos C, Mariotti F, Gausserès N, Benamouzig R, Tomé D, Gaudichon C. Increasing habitual protein intake results in reduced postprandial efficiency of peripheral, anabolic wheat protein nitrogen use in humans. Am J Clin Nutr. 2008;87:666-78.
- [7] Price GM, Halliday D, Pacy PJ, Quevedo MR, Millward DJ. Nitrogen homeostasis in man: the diurnal responses of protein synthesis and degradation and amino acid oxidation to diets with increasing protein intakes. Clin Sci (Lond). 1994;86:103-16.
- [8] 近藤衣美、井上なぎさ、岡田佐知子、家治慶子、廣田あゆみ、岡村浩嗣. 運動による筋肥大に対するたんぱく質の摂取量と摂取タイミングの影響. 第62回日本栄養・食糧学会講演要旨集. 2008; 3A-05P, p 229.
- [9] Gaudichon C, Mahé S, Benamouzig R, Luengo C, Fouillet H, Daré S, Van Oycke M, Ferrière F, Rautureau J, Tomé D. Net postprandial utilization of [15N]-labeled milk protein nitrogen is influenced by diet composition in humans. J Nutr. 1999;129:890-5.
- [10] Levenhagen DK, Gresham JD, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ, Flakoll PJ. Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2001;280:E982-93.
- [11] Cribb PJ, Hayes A. Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy. Med Sci Sports Exerc. 2006;38:1918-25.
- [12] Tipton KD, Rasmussen BB, Miller SL, Wolf SE, Owens-Stovall SK, Petrini BE, Wolfe RR. Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2001;281: E197-206.
- [13] Kerksick C, Stout J, Campbell B, Wilborn C, Kreider R, Kalman D, Ziegenfuss T, Lopez H, Landis J, Ivy J, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. J Int Soc Sports Nutr. 2008;5:17.
- [14] Boirie Y, Dangin M, Gachon P, Vasson MP, Maubois JL, Beaufrère B. Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. Proc Natl Acad Sci USA. 1997 Dec 23:94:14930-5.
- [15] Dangin M, Boirie Y, Garcia-Rodenas C, Gachon P, Fauquant J, Callier P, Ballèvre O, Beaufrère B. The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2001;280:E340-8.

- [16] Dangin M, Guillet C, Garcia-Rodenas C, Gachon P, Bouteloup-Demange C, Reiffers-Magnani K, Fauquant J, Ballèvre O, Beaufrère B. The rate of protein digestion affects protein gain differently during aging in humans. J Physiol. 2003;549:635-44.
- [17] Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Macdonald MJ, MacDonald JR, Armstrong D, Phillips SM. Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soyprotein beverage. Am J Clin Nutr. 2007;85:1031-40.
- [18] Hartman JW, Tang JE, Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Lawrence RL, Fullerton AV, Phillips SM. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. Am J Clin Nutr. 2007;86:373-81.